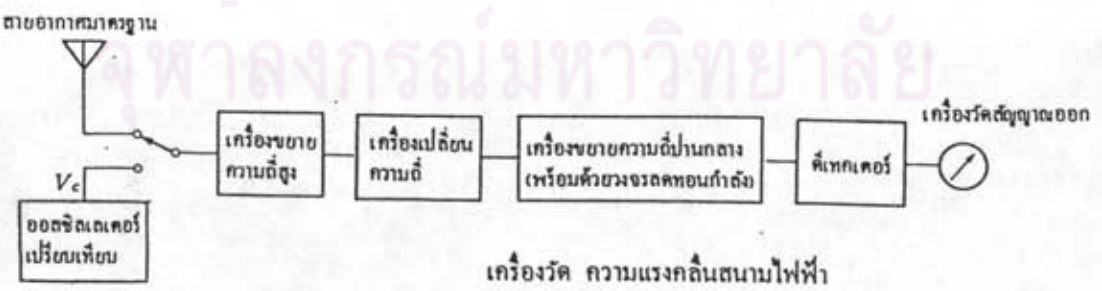
บทที่ 3

อุปกรณ์ที่ใช้วัดคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าก็คือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าฉะนั้นในการวัดคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าก็คือการวัดความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง ในทางปฏิบัติเราจะวัดความแรงของคลื่นสนามไฟฟ้า(Electric Field Strength)ซึ่งก็คือ ความแรงของสนามไฟฟ้าที่ปรากฏ ณ จุดใดๆ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ ณ จุดนั้น ความแรงของคลื่นสนามไฟฟ้านี้จะถูกแสดงออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้น ในตัวนำเส้นตรงที่มีความยาวหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็น $\mu V/m$ (เท่ากับ 10^{-6} V/m หรืออาจใช้หน่วย dB เป็น $dB\mu V/m$) [9]

เครื่องมือที่ใช้วัดความแรงคลื่นสนามไฟฟ้า คือ เครื่องวัดความแรงสนามไฟฟ้า (Field-strength Meter) การทำงานของเครื่องฯจะใช้ร่วมกับสายอากาศมาตรฐานซึ่งจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ค่าของความแรงคลื่นสนามไฟฟ้าได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสายอากาศนั้น แล้วแสดงผลทางมิเตอร์ที่มีสเกลเป็นความแรงของสนามไฟฟ้า ซึ่งก็เท่ากับ อัตราส่วนระหว่าง แรงดันที่วัดได้ กับ ค่าความยาวประสิทธิผล (Effective Length)ของสายอากาศนั้นนั่นเอง

รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดความแรงของสนามไฟฟ้า ชนิดซุปเปอร์เฮตเทอโรดายน์

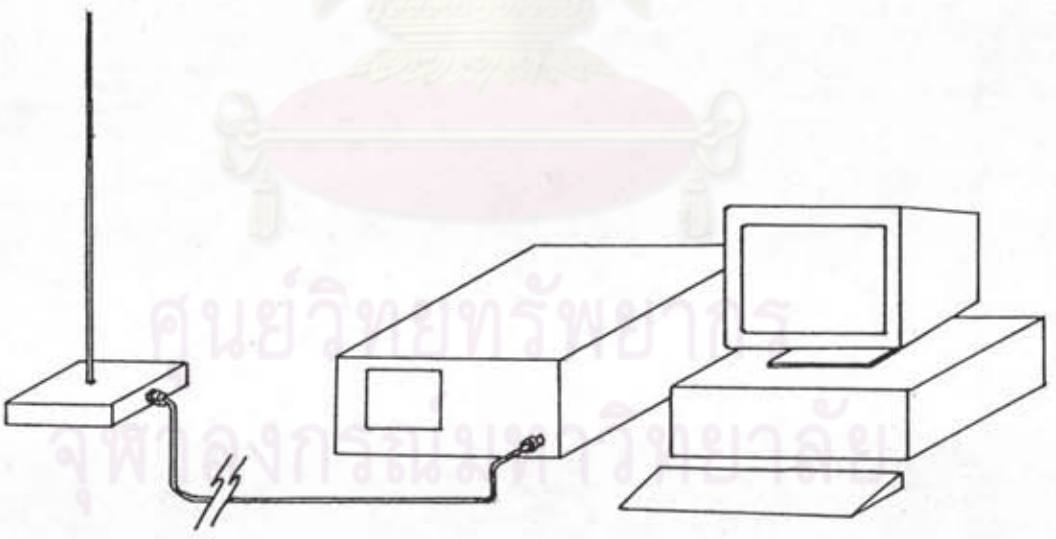


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องวัดความแรงของสนามไฟฟ้าชนิดซุปเปอร์เฮตเทอโรดายน์

เนื่องจากเครื่องวัดความแรงสนามไฟฟ้า จะวัดความแรงคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้น คือจะต้องมีการปรับ(Tune) ให้ตรงกับความถี่ที่ต้องการวัดทีละความถี่ จึงไม่สะดวกในการนำไปวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายๆ ความถี่พร้อมๆ กัน ในกรณีเช่นนี้เราจะใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแทน เนื่องจากสามารถที่จะวัดและแสดงผลออกมาได้หลายความถี่พร้อมกัน คือเป็นช่วงความถี่ ดังจะได้กล่าวถึงการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ความถี่อย่างคร่าวๆ ในหัวข้อต่อไป

3.1 ระบบอุปกรณ์ที่ใช้วัด

ระบบอุปกรณ์ที่ได้จัดขึ้นประกอบด้วย เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม สายอากาศและเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมกับสายอากาศจะได้กล่าวในบทนี้ ส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์จะกล่าวถึงในบทต่อไป



รูปที่ 3.2 ระบบอุปกรณ์วัดที่จัดตั้งขึ้น

3.1.1 <u>เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม</u> (Spectrum Analyzer) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดขนาดของสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ โดยหน้าจอจะแสดงความถี่ในแกนนอนและขนาดในแกนดิ่ง ดังแสดงในรูปที่3.3 ก เป็นเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมของ TEKTRONIX รุ่น 2754P และ รูปที่ 3.3 ข แสดงจอภาพของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม หน้าจอภาพของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมจะแสดงค่าต่างๆ เหล่านี้คือ

CENTERFREQUENCY : เป็นความถี่กึ่งกลางจอภาพ ในรูปแสดง Center Frequency 100 MHz คือความถี่จุดกึ่งกลางจอเท่ากับ 100 MHz

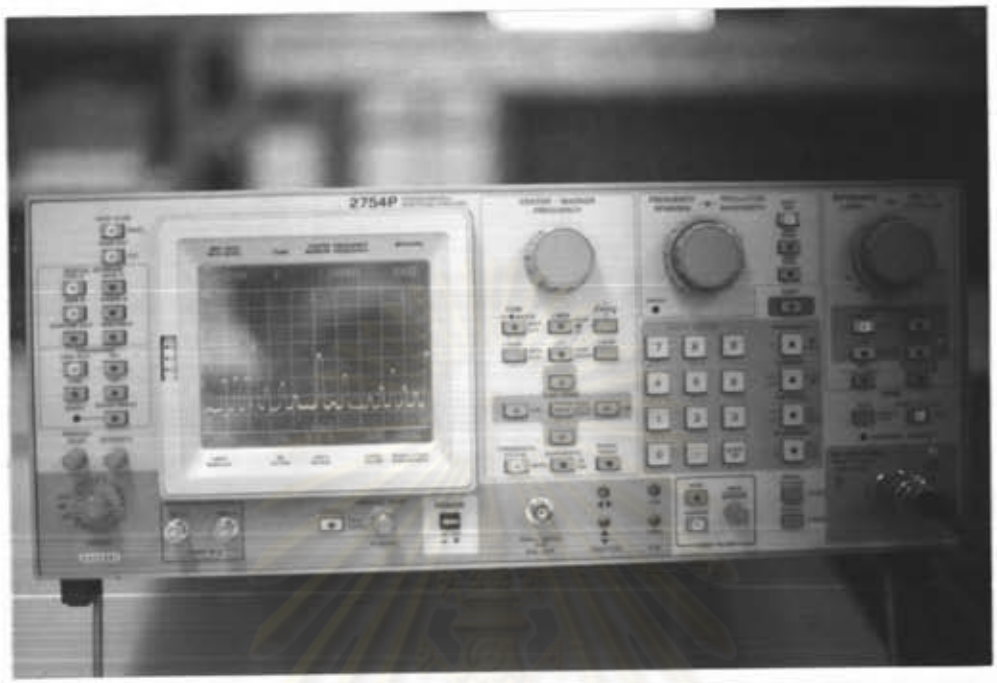
SPAN/DIV : ช่วงกว้างความถี่ต่อช่องในรูปแสดง SPAN/DIV 2 MHz หมายถึงช่วงในแนวแกนนอนช่องละ 2 MHz ทั้งจอภาพ 10 ช่อง ความถี่กึ่งกลาง 100 MHz ฉะนั้นช่วงความถี่ที่แสดงบนจอเป็น 90 - 110 MHz

REF LEVEL : ระดับอ้างอิงของขนาดสัญญาณในแนวดิ่ง ขนาดของสัญญาณจะแสดงในหน่วย dBm ในรูปแสดง REF LEVEL -30 dBm คือเส้นนอนบนสุดจะมีระดับเท่ากับ -30 dBm

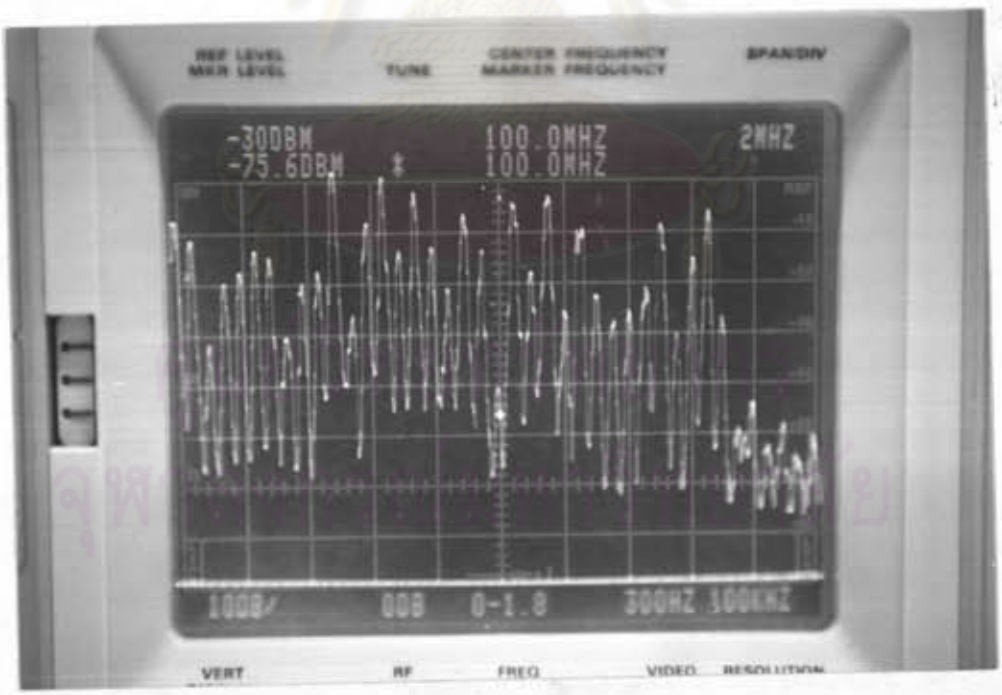
VERTICAL DISPLAY : เป็นสเกลทางแกนดิ่ง ในรูปแสดง 10 DB/ หมายถึง 10 DB ต่อช่องทางแกนดิ่ง

RESOLUTION BANDWIDTH : เป็นแถบกว้างความถี่ที่จะเลือกสัญญาณเข้าไป เพื่อหาขนาดของสัญญาณ (RES.) ในรูปแสดง RES. 100 KHz

VIDEO FILTER : เป็นฟิลเตอร์ที่จะกรองความถี่สูงก่อนที่จะแสดงผลบนจอภาพ ซึ่งจะเป็นผลให้ noise ลดลง เลือกได้สองระดับคือ WIDE และ NARROW ซึ่งจะตัดที่ความถี่ประมาณ 1/30 เท่า หรือ 1/300 เท่าของ RESOLUTION BANDWIDTH ในรูปแสดง 300 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม Tektronix 2754P (ข) จอภาพของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

การทำงานของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม สัญญาณที่วัดจะเข้าทางขั้วสัญญาณเข้า (input) สัญญาณที่เข้ามานี้จะถูกเลือกให้ผ่านเข้าไปทีละช่วงความถี่ที่กว้างเท่ากับ Resolution Bandwidth (RES.) เพื่อนำไปหาขนาดสัญญาณ ณ ความถี่นั้น จากนั้นก็จะกวาดความถี่ไปตั้งแต่ความถี่ต่ำสุดไปจนถึงความถี่สูงสุดที่จะวัดและแสดงผลออกมา จะเห็นว่าความละเอียดในการวัดจะขึ้นอยู่กับ RES. ถ้า RES. แคบ ค่าที่วัดได้แต่ละจุดของความถี่ก็จะเป็นค่า ณ ความถี่ที่วัดนั้น แต่การที่ RES. แคบในขณะที่ SPAN เท่ากันจะต้องใช้เวลาในการกวาด(Sweep Time)มากขึ้นกว่าจะครบความถี่ที่จะวัดทั้งหมด RES., SPAN และเวลาในการกวาด จึงมีความสัมพันธ์กัน ถ้าค่าทั้งสามถูกตั้งให้ไม่สัมพันธ์กัน เช่น SPAN กว้างในขณะที่ RES. แคบ และเวลาในการกวาดเร็ว ก็จะเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ซึ่งก็จะมีไฟสัญญาณแสดงบอกความผิดพลาด (UNCAL) สำหรับรุ่นที่ใช้อยู่นี้จะมีให้เลือกการปรับได้ทั้งแบบอัตโนมัติ (Auto Res.,Auto Sweep) ซึ่งเมื่อเราเปลี่ยนช่วงความถี่ในการวัดไป RES.,Sweep time ก็จะเปลี่ยนตามโดยอัตโนมัติและอีกแบบคือปรับเองทั้งหมด

การใช้งานเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม เริ่มต้นนำสัญญาณเข้าทางขั้วสัญญาณเข้าโดยระวังไม่ให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้ามาด้วย ถ้าสัญญาณแรงไปให้ปรับตัวลดทอนสัญญาณ (ATTEN) จากนั้นปรับความถี่ศูนย์กลาง(Center Frequency)ไปที่ความถี่ที่ต้องการวัด ปรับ SPAN ให้เหมาะสม ส่วน RES.,Sweep Time จะตั้งเป็น Auto หรือจะปรับเองตามต้องการก็ได้ ถ้ารูปสัญญาณบนจอภาพมีขนาดสูงหรือต่ำเกินไปก็สามารถปรับ REF LEVEL, VERT. DISPLAY เพื่อให้รูปสัญญาณที่แสดงบนจอภาพมีขนาดพอเหมาะ ค่า Center Frequency, SPAN, REF LEVEL เหล่านี้สามารถปรับเป็นขั้นโดยใช้ปุ่มหมุน หรือจะใส่ค่าเป็นตัวเลขลงไปได้เลย ถ้ารูปกราฟที่แสดงมี Noise มาก อาจปรับปุ่ม VIDEO FILTER ไปที่ WIDE หรือ NARROW จะทำให้รูปกราฟที่แสดงบนจอภาพเรียบขึ้น

การทำงานตามปุ่มปรับบนหน้าปัทม์ของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมนี้ สามารถสั่งงานจากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง GPIB ได้เกือบทุกปุ่ม คำสั่งที่ใช้มีรายละเอียดอยู่ในหนังสือคู่มือการโปรแกรมเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ยกตัวอย่างคำสั่งเช่น ถ้าต้องการให้ปรับ SPAN เป็น 2 MHz ก็จะส่งคำสั่ง "SPAN 2 MHZ" เป็นต้น และสามารถเรียกดูค่าสถานะการทำงานต่างๆ ของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมได้ เช่น ถ้าต้องการทราบว่าเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมกำลังวัดที่ความถี่เท่าไร ก็สอบถามโดยใช้คำสั่ง"FREQ?" เครื่องฯก็จะส่งความถี่

ศูนย์กลางที่กำลังวัดอยู่ให้ทราบ เป็นต้น ทั้งนี้รวมถึงรูปกราฟก็สามารถเรียกออกมาได้โดยใช้คำสั่ง "CURVE?" สำหรับการเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์โดย GPIB นั้นรายละเอียดอยู่ในคู่มือการใช้ GPIB

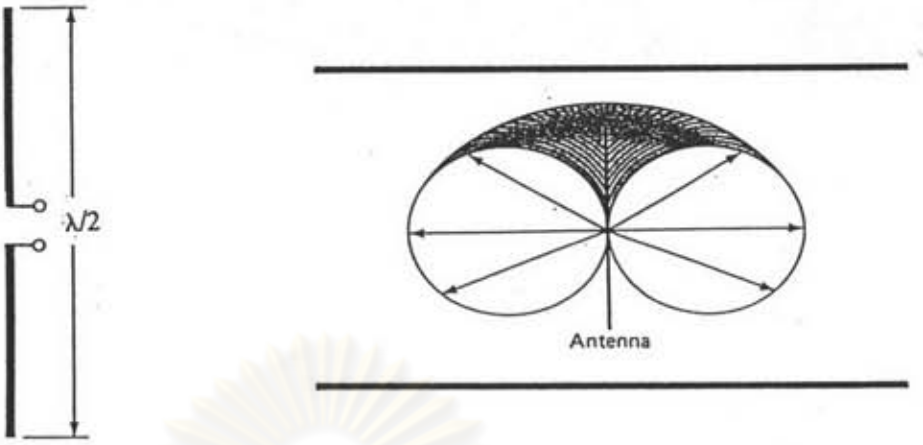
สำหรับระบบที่จัดขึ้น ได้เชื่อมต่อเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดย GPIB ที่ตำแหน่ง 0001, BOARD 0, DEV 1 และตั้งค่าต่างๆ ของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมดังนี้

Center Frequency	ตามการแบ่งช่วงความถี่ ที่จะกล่าวในบทที่ 4
SPAN	2 MHz
RES.	100 KHz
VIDEO FILTER	300 Hz
ATTEN	0 dB
REF LEVEL	-30 dBm

ค่าเหล่านี้จะถูกกำหนดตอนเริ่มต้นโปรแกรมและคงไว้ตลอด เพื่อข้อมูลที่เก็บได้จะได้เหมือนกัน สำหรับ Center Frequency จะเปลี่ยนไปตามช่วงการวัดตามโปรแกรมควบคุม

3.1.2 <u>สายอากาศ</u> การวัดคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ ซึ่งก็คือการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่ต้องการ ณ จุดนั้นนั่นเอง สายอากาศจะเป็นตัวเปลี่ยนความแรงสนามไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ เมื่อวัดแรงดันที่เกิดขึ้นก็จะทราบขนาดของคลื่น ณ จุดนั้น จะเห็นว่าสายอากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญ คือจะต้องทราบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เพื่อทราบว่าค่าที่วัดได้นั้นมาจากระดับของคลื่นจริงๆ เท่าไร นั่นก็คือคุณสมบัติในการเปลี่ยนความแรงของสนามไฟฟ้าเป็นแรงดันของสายอากาศนั้น

พิจารณาสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ซึ่งเป็นสายอากาศมาตรฐาน มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.4 ก และรูปแบบการกระจายคลื่นดังรูปที่ 3.4 ข



(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น (ก)โครงสร้าง (ข)รูปแบบการกระจายคลื่น

สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นนี้ ความแรงสนามไฟฟ้าและแรงดันจะมีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ (3.1)

$$V = E.L_{eff} \qquad (3.1)$$

ซึ่งค่า L_{eff} นี้เรียกว่าเป็น ความยาวประสิทธิผล(effective length) ของสายอากาศมีหน่วยเป็นเมตร โดยที่แรงดัน(V) มีหน่วยเป็น Volt หรือ μV หรือ dBμV และความแรงสนามไฟฟ้า(E) มีหน่วยเป็น V/m หรือ μV/m หรือ dBμV/m ซึ่งก็จะใช้หน่วย dBμV และ dBμV/m เนื่องจากค่าที่ได้มีระดับต่ำเพราะฉะนั้นเมื่อใช้สายอากาศวัดคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอ่านค่าแรงดันที่ได้จากสายอากาศแล้ว จะทราบความแรงสนามไฟฟ้าได้โดยการหารด้วยความยาวประสิทธิผลของสายอากาศนั้นดังสมการที่ (3.2)

$$E = V.(1/L_{eff}) \qquad (3.2)$$

ค่า $1/L_{eff}$ อาจเรียกว่าเป็น Antenna Factor (AF) ของสายอากาศ ซึ่งอาจเขียนสมการ(3.2) ใหม่ได้เป็น

$$E = V.AF \qquad (3.3)$$

ในหน่วย dB

$$E_{dB} = V_{dB} + AF_{dB} \qquad (3.4)$$

สำหรับสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นมี $L_{eff} = \lambda/\pi$ และ $AF = \pi/\lambda$ [10] เครื่องวัดความแรงสนามไฟฟ้าทั่วไปก็ใช้หลักการนี้ คือใช้สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นวัดแรงดันไฟฟ้าแล้วใช้แฟคเตอร์นี้บวกเข้าไปบนหน้าปัทม์ ก็จะมีสเกลที่สามารถอ่านออกมาเป็นความแรงสนามไฟฟ้าได้ แต่ก็ต้องปรับไปทีละความถี่โดยปรับสายอากาศให้มีความยาวเป็นครึ่งความยาวคลื่น ณ ความถี่ที่จะวัดทุกครั้งไป ซึ่งก็ไม่สะดวกในการวัดความถี่หลายๆ ความถี่พร้อมๆ กันดังได้กล่าวไปแล้ว จึงต้องเลือกใช้สายอากาศที่มีความยาวคงที่ และหาแฟคเตอร์ของสายอากาศคือ Antenna Factor(AF)นี้ ซึ่งแน่นอนในกรณีนี้จะไม่เท่ากับ π/λ ดังในกรณีของไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ในการหา AF ของสายอากาศที่จะใช้นั้นเราได้ใช้การปรับเทียบกับ สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อการปรับเทียบข้อมูล

สายอากาศที่เลือกใช้คือสายอากาศโมโนโพล (Mono Pole Antenna) ความยาว 1 เมตร ที่เลือกใช้สายอากาศโมโนโพลเนื่องจากจะสะดวกในการใช้งานมากกว่าดังจะเห็นจากการติดตั้งการเคลื่อนย้าย และยังมีรูปแบบการกระจายคลื่นแบบรอบตัวคล้ายๆ กับสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ในกรณีนี้เราจะทำการวัดเก็บข้อมูลเบื้องต้นยังไม่คำนึงถึงทิศของคลื่นรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะวัดจะคำนึงถึงแต่ระดับของคลื่น ณ จุดนั้น จึงควรให้มีคุณสมบัติในการรับเท่าๆ กันโดยรอบ ซึ่งก็ตรงกับความต้องการของเรา สำหรับความยาวที่เลือก 1 เมตร เมื่อพิจารณาแล้วความยาวของสายอากาศที่ใช้จะเป็น 0.1 - 4 เท่าของความยาวคลื่นที่ความถี่สูงสุด(230 MHz) และความถี่ต่ำสุด(30 MHz)ตามลำดับ สายอากาศที่จัดขึ้นเป็นสายอากาศโมโนโพลยาว 1 เมตร ติดตั้งบนแท่นสามขา(ขาตั้งกล้อง) สูงจากพื้น 1 เมตร ต่อกับสายนำสัญญาณแบบโคแอคเชียล RG 58A/U ยาว 10 เมตร เป็นชุดสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 สายอากาศโมโนโพลที่ใช้ในระบบฯ ติดตั้งบนแท่นสามขา

ซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม แล้วจึงนำไปปรับเทียบเพื่อทำให้ค่าที่อ่านได้เปลี่ยนเป็นความแรงสนามไฟฟ้าคือระดับของคลื่นที่ถูกต้องต่อไปรูปที่ 3.6 แสดงระบบอุปกรณ์ที่ได้จัดตั้งขึ้น

รูปที่ 3.6 ระบบอุปกรณ์ที่จัดตั้งขึ้น ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม สายอากาศ และเครื่องคอมพิวเตอร์

3.2 การปรับเทียบข้อมูล

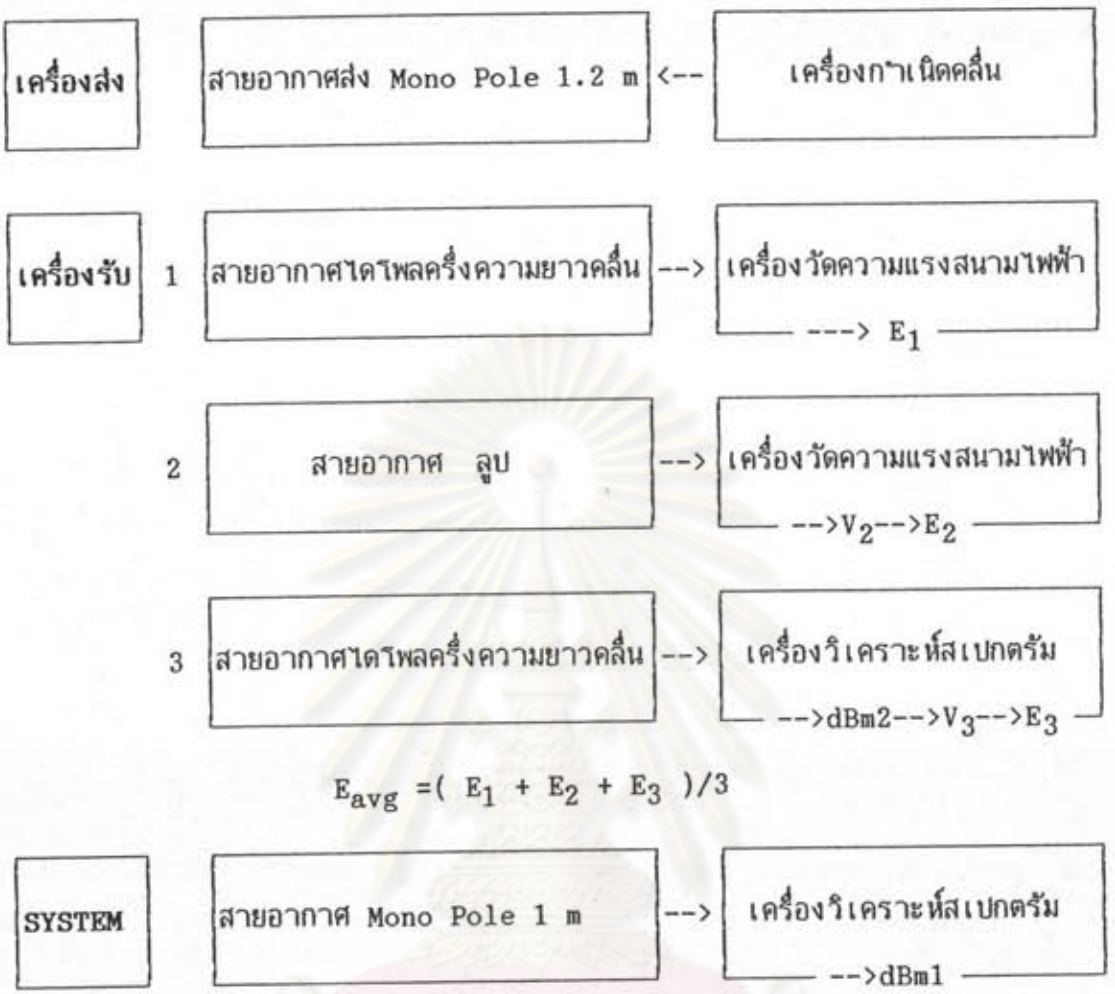
การปรับเทียบข้อมูลที่วัดได้จากระบบที่จัดขึ้น ทำได้โดยการเทียบว่า ณ จุดที่วัดนี้มีความแรงสนามไฟฟ้าเท่าไร และระบบอ่านออกมาได้เท่าไร เทียบกันแล้วเก็บไว้เป็นค่าที่อาจเรียกว่า Conversion Factor เนื่องจากว่าระบบที่จัดขึ้นวัดออกมาได้เป็นหน่วย dBm และความแรงสนามไฟฟ้ามีหน่วยเป็น dBμV/m การปรับเทียบจึงคล้ายกับการหาแฟคเตอร์ในการเปลี่ยนหน่วยจาก dBm เป็น dBμV/m จึงเรียกว่าเป็น Conversion Factor ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Antenna Factor ดังในสมการที่ 3.5

$$
\begin{aligned}
dBm &= 10\log(P) && ;P\text{-}[mW] \\
&= 10\log(P*10^{-3}) && ;P\text{-}[W] \\
&= 10\log(V^2/R)+10\log(10^{-3}) && ;V\text{-}[V] \\
&= 20\log(V/10^6)-10\log(R)+10\log(10^3) && ;V\text{-}[\mu V] \\
&= 20\log(V)-20\log(10^6)-10\log(50)+\log(10^3) && ;R=50\ ohm \\
&= 20\log(V)-107 && ;20\log(V)=dB\mu V \\
dB\mu V &= dBm + 107 \\
dB\mu V/m &= dB\mu V + AF && ;AF\text{-}Antenna\ Factor \\
&= dBm + CF && ;CF\text{-}Conversion\ Factor
\end{aligned}
$$

$$CF = 107 + AF \qquad (3.5)$$

วิธีการปรับเทียบ จะใช้เครื่องกำเนิดคลื่นส่งคลื่นความถี่ออกไปทางสายอากาศส่ง แล้ววัดความแรงสนามไฟฟ้า ณ ระยะห่างออกไป โดยใช้ 3 วิธี ได้ค่าความแรงสนามไฟฟ้าจากทั้ง 3 วิธี นำมาเฉลี่ยได้เป็นค่าความแรงสนามไฟฟ้า ณ จุดนั้น แล้วจึงเทียบกับค่า dBm ที่วัดได้จากระบบฯ ได้เป็น Conversion Factor

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เมื่อเทียบ E_{avg} <---> dBm แต่ละความถี่ได้เป็น Conversion Factor

3.2.1 <u>ขั้นตอนการปรับเทียบ</u> หาสถานที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่าง สายอากาศส่ง-รับ และมีระยะห่างกว้างพอเพื่อให้คลื่นที่ส่งมาจากสายอากาศส่งถึงสายอากาศรับเป็นลักษณะของ far field ในขั้นแรกได้ใช้บริเวณดาดฟ้าของตึกภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แต่มีปัญหาหลายประการ จึงเปลี่ยนไปใช้ที่อำเภอวิเศษชัยชาญ จังหวัดอ่างทอง แทน รายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ง เมื่อได้สถานที่แล้วจึงตั้งสายอากาศส่ง สายอากาศรับ 3 ตัวคือ สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น สายอากาศลูป (Loop Antenna) สายอากาศโมโนโพล ยาว 1 m วางตำแหน่งดังรูปที่ ง-2 (ภาคผนวก ง) ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งถึงสายอากาศรับแต่ละตัวใช้ระยะ 15 m

ขั้นตอนวัด

1. ต่อสายอากาศส่งเข้าเครื่องส่ง ปรับระดับสัญญาณส่งเท่ากับ 15 dBm คงที่ ปรับความถี่เริ่มที่ความถี่ 30 MHz โดยใช้ Frequency Vernier ช่วยในการปรับละเอียด และดูสัญญาณที่รับได้จากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

2. ต่อสายอากาศโมโนโพล 1 m เข้าเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม อ่านค่าออกมาเป็น dBm1 ที่วัดได้จากระบบฯ

3. ปรับสายอากาศไดโพลให้มีความยาวเท่ากับ ครึ่งความยาวคลื่นที่ความถี่นั้น ต่อสายอากาศโมโนโพลครึ่งความยาวคลื่นเข้าเครื่องวัดความแรงสนามไฟฟ้า อ่านค่าออกมาเป็น E_1[dBuV/m]

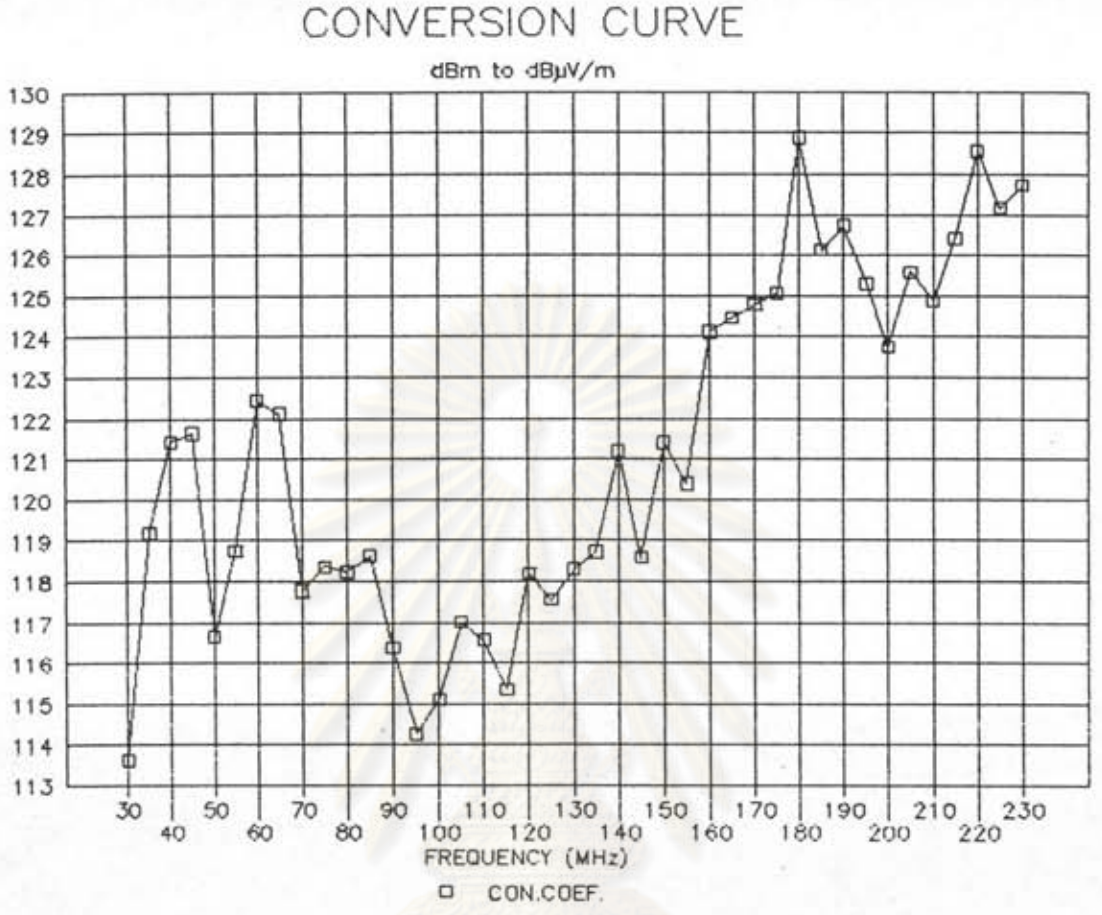
4. เปลี่ยนสายอากาศจากสายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศลูป ต่อเข้าเครื่องวัดความแรงสนามไฟฟ้า อ่านค่าออกมาเป็น V_2[dBμV]

5. นำสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ต่อกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม อ่านค่าออกมาเป็น dBm2

เปลี่ยนความถี่ของเครื่องส่งไปทีละ 5 MHz ทำซ้ำข้อ 1 ถึง 5 จนถึงความถี่ 230 MHz เนื่องจากเครื่องวัดความแรงสนามไฟฟ้าที่ใช้วัดได้ถึง 230 MHz จึงทำการวัดเท่านี้

จาก V_2 ที่ได้นำไปบวกกับ Antenna Factor ของสายอากาศลูป (ดูภาคผนวก ง)ได้เป็น E_2, จาก dBm2 เปลี่ยนเป็น V_3 โดยบวกด้วย 107 และจาก V_3 เปลี่ยนเป็น E_3 โดยใช้ AF ของไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ตารางค่าต่างๆ ที่ได้แสดงอยู่ในภาคผนวก ง เมื่อได้ E_1, E_2, E_3 แล้วนำมาเฉลี่ยเป็น E_{avg} แล้วเทียบกับค่า dBm1 ที่อ่านได้จากระบบได้เป็น Conversion Factor(CF) ที่แต่ละความถี่ $CF = E_{avg} - dBm1$ เมื่อหาครบทุกความถี่เขียนเป็น Conversion Curve ดังแสดงในรูปที่ 3.7

จากค่าที่ได้เป็นจุดๆ ห่างกัน 5 MHz นำไปหาค่าเพิ่มเติมโดยใช้โปรแกรม AFF.BAS โปรแกรมจะจัดค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปบวกกับข้อมูลที่วัดได้จากระบบ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่าความแรงสนามไฟฟ้าที่ถูกต้องต่อไป ค่าที่ได้แสดงอยู่ในรูป Antenna Factor อยู่ในภาคผนวก ง [11]



รูปที่ 3.7 Conversion Curve ใช้ในการเปลี่ยนหน่วย dBm ให้เป็นหน่วย dBμV/m โดยการบวกค่าที่อ่านได้ด้วยค่าบน Conversion curve ที่ความถี่นั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย